

文章编号: 0451-0712(2007)02-0059-05

中图分类号: U442.54

文献标识码: B

大跨径混凝土梁桥设计新思路

梁立农, 韩大建

(华南理工大学土木工程系 广州市 510507)

摘 要: 以大跨径预应力混凝土梁桥存在开裂、下挠过大等病害为对象,研究病害的主要成因和对策,试图探讨解决这些问题的设计新思路,即引入斜拉桥施工监控原理,对影响其应力、位移的主要因素,即自重、预应力摩阻损失、混凝土收缩徐变等进行施工和使用阶段的监控,并根据参数识别在施工阶段对预应力束进行股数调整,在使用阶段利用体内和体外备用束视监控情况进行内力调整,从而提高梁体的抗裂性能,达到有效预防混凝土梁桥常见的梁体开裂、跨中下挠过大等病害,文中对珠江大桥的设计做了简单介绍。

关键词: 连续梁; 连续刚构; 裂缝; 施工监控; 设计对策

1 大跨径混凝土梁桥的发展现状

混凝土梁桥包括连续梁和连续刚构,它以外形简洁、优美,采用自架设体系施工,特别是连续刚构不需进行体系转换,而具施工简便、风险小的优点。由于其施工状态与成桥使用状态的内力状态吻合,因而施工费用少、造价低、经济合理,同时结构刚度大、行车舒适、养护简单、费用低,在 250 m 以下桥跨

中得到了广泛应用,是极具竞争力而被广泛采用的一种桥型。

2 大跨径混凝土梁桥的主要病害及原因分析

2.1 主要病害

大跨径预应力混凝土梁桥在一定的跨径范围内是一种经济适用、美观的桥型,但由于对影响其内力

基金项目: 广东省交通厅科研项目(200536)

收稿日期: 2006-08-21

Experimental Study on Loading Efficiency of Box Girder with Corrugated Steel Webs

LI Li-feng, WANG Fang, LIU Zhi-cai

(School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The externally prestressed composite box girder with corrugated steel webs is a new type steel-concrete composite structure. The steel webs bear the most of the shear force, and the top and bottom concrete slabs bear the moment of flexure chiefly. The particular advantages of each material can be utilized sufficiently, so it will obtain extensive use in the future. The comparison between the loading efficiency due to prestressing of the finite-element analysis and the tests are satisfactory. Parametric studies are conducted to examine the effects of the type and thickness of the webs. The results indicate that the composite box girder with corrugated steel webs dominate over the aspect of the loading efficiency due to prestressing.

Key words: composite box girder with corrugated steel webs; model test; external prestress; loading efficiency; FEM

和位移的某些因素,还缺乏深入的研究和了解,因此,不少混凝土梁桥运营不久箱梁即出现了跨中附近底板和腹板的 U 形开裂或底板横向开裂;1/4 跨腹板及对应的边跨腹板附近的斜向开裂;1/4 跨~1/2 跨中腹板及对应的边跨腹板的斜向开裂;边跨支点附近腹板的斜向开裂;箱梁桥面板跨中附近下缘的纵向开裂;箱梁支点横隔板人洞和倒角附近的斜向、竖向开裂;预应力齿板附近的顶底板和腹板的横向或斜向开裂;跨中附近底板在预应力径向力作用下的分层撕裂;主墩与箱梁及承台相接处的竖向开裂;承台、墩身及桩基在水位变化区、浪溅区受到环境因素的腐蚀;跨中下挠过大等病害,有些裂缝甚至在施工期间即已形成。裂缝主要有正截面正应力裂缝和斜截面主应力裂缝。裂缝形态主要有近直线裂缝和网状裂缝。

2.2 病害原因分析

(1) 超载因素。

由于我国社会经济、文化发展的水平还并不高,因此在经济利益的驱使下,超载现象严重。而超载车塞车更是设计中无法预计的一种活载状态,由此使运营状态中的实际应力超出设计控制值很多,从而使桥梁开裂。

(2) 施工因素。

目前,部分工程施工队伍素质参差不齐,劳务分包比较严重,技术工人严重缺乏,无证工人施工现象严重,经验丰富的工程技术人员数量不足,正常的施工周期难以保证,部分监理人员素质较差,因此工程质量不容乐观,施工缺陷、差错时有发生,因施工原因而引发裂缝的现象不在少数。

(3) 设计因素。

部分单位设计任务繁重,正常的设计周期难以保证,部分设计人员用“心”设计不足,缺乏精益求精的精神,有时在荷载计算、应力控制和构造处理上考虑不周,对超载的严重性,施工质量的可靠性预计不足,加之规范的更新周期太长,部分内容跟不上技术的发展等多方面原因,使得某些设计的抗裂可靠性存在一些疑问。

3 治理大跨径混凝土梁桥病害的设计新思路

针对大跨径预应力混凝土梁桥存在的病害,本文主要论述如何从设计方面开拓新思路,提出预防与治理可能发生病害的设计措施。简单地说,一是要确保正常的设计周期,用“心”设计;二是要加大科技

投入,不断总结经验并及时更新规范;三是要提升设计理念,倡导设计新思路。

(1) 引入斜拉桥施工监控原理,进行动态设计。

再精确的计算也不可能与实际结构完全吻合,再精确的施工也不可能与设计完全一致。理论与实际的出入或多或少、或大或小,总有差异。拿斜拉桥来说,索力的施加误差、结构尺寸的出入、混凝土收缩徐变的变异、结构刚度的增减,使得实际内力及位移与理论预测结果不一致,如果误差累积超过某一限值时,将使线型和内力变更无法接受,因此,必需通过施工监控来进行参数识别并据此调整设计。尽量使调整后的新设计与实际相符,这就是斜拉桥的施工监控过程。一般认为斜拉桥主梁较柔,误差对结构内力和位移的影响比较敏感,而对连续刚构桥来说,认为刚度较大,误差对结构内力和位移的影响不太敏感,施工阶段只需进行内力和位移监控不需进行预应力的调整。然而,这是一种误区,对于 250 m 主跨的连续刚构,如结构自重增大 5%,则跨中下缘应力减少约 0.8 MPa;调坡时,桥面铺装平均增厚 2 cm,跨中下缘应力将减少约 0.6 MPa;预应力孔道摩阻系数增加 0.1,跨中下缘应力减少约 0.6 MPa;预应力束张拉少 5%,则跨中下缘应力将减少约 1.3 MPa;混凝土收缩徐变速率减缓至 1/10,跨中下缘应力减少约 1 MPa;活载超载 20%,跨中下缘应力减少约 0.75 MPa。如果这些变异同时发生,则跨中下缘应力将减少约 5 MPa,当然这些变异同时发生的可能性很小,但只要发生 70%,则跨中下缘就有开裂的风险,而且一旦开裂,内力发生重分配并引发新一轮的徐变,将加剧裂缝的扩大,而这一结果是人们无法接受的。因此,大跨径混凝土梁桥必需引入斜拉桥的施工监控原理,对其恒载、预应力损失、收缩徐变、结构刚度等敏感参数进行识别,并及时调整预应力设计而使得实际应力、位移得到有效控制。而超载也应进行研究,以采用实际的超载进行验算,在近期也是需要的,同时在设计中对应力应有足够的富余度。

(2) 将混凝土收缩徐变当作一种随机作用来看待,进行包络设计。

混凝土结构的历史并不太长,收缩徐变的机理和规律由于其复杂性还远未弄得很清楚,一方面要加强其随机特性研究,把它作为一个随机变量来看待;另一方面在目前还不能精确做出分析计算时,粗略估计其误差范围并进行包络设计,也许这是比较

现实的一种做法。

(3) 留足预应力备用束,严密监视其应力和位移状态,根据健康监测结果进行内力调整。

大跨径混凝土梁桥在运营后,受收缩徐变变异、温度作用变异、施工误差超限及超载等的影响,使得实际应力和位移有时会超出设计者的期望值,严重者甚至会出现多处裂缝宽度超限、跨中下挠不收敛等。因此,必需严密监视营运过程中尤其是竣工后前几年的应力和位移状况,最好半年做一次检测,并根据检测结果分析其健康状态,再决定是否利用预应力备用束进行内力调整。足够的预应力备用束措施是非常必要的,否则新增的预应力束将使其代价十分昂贵。国内有些大跨径混凝土梁桥因开裂而维修加固,新增预应力束的代价少则几百万,多则几千万,甚至更多,这都是惨痛的教训。

预应力备用束可采用体内束或体外束,或体内束和体外束同时采用,这可由设计者根据实际情况灵活运用。

预应力备用束的施加时机,应在跨中附近下缘部位横向开裂前施加,这可通过对该截面应力、位移的严密监测,当应力、位移偏离设计期望并存在开裂危险时施加。否则一旦开裂,截面刚度下降,内力重分配及由此引起的徐变内力重分配,严重时因跨中上缘的塑性转动将进一步引起内力重分配,这些因素都将加剧跨中下挠和开裂速率,严重降低全桥的使用承载能力。如在此种状态下再施加预应力备用束,则比开裂前施加所需要的预应力束要多很多,而跨中的过大下挠也很难通过预应力束的施加来完全恢复。最起码也要经常观测,一旦发现跨中下缘表面有细微横向裂缝,即马上施加预应力备用束,以尽量降低内力调整的成本。

(4) 做好结构构造设计。

结构构造的不良设计也是引起开裂的一个重要因素,对于大跨径混凝土梁桥来说,主要应做好几何构造设计和配筋设计,如确保有足够的腹板厚度和截面尺寸;配置足够的构造钢筋、足够的预应力弯道处防崩钢筋和足够的板内系筋等等。

4 大跨径连续刚构桥的设计体会

4.1 广州南部快速干线珠江大桥

广州市南部地区快速干线贯穿番禺区中部,北接广州南环高速公路仑头立交,南连龙穴岛深水港,是广州南部地区道路主骨架的重要组成部分,其中

珠江大桥跨径最大,它北接新造立交,从规划的大学城东部跨越珠江主航道后,到达南岸番禺区,全长为1 696 m,该桥已于2004年12月建成通车。

(1) 桥址概况。

桥址处于三角洲冲积平原地带,桥位处河道基本顺直,两岸地势平坦开阔,主桥跨越珠江处江面宽约625 m,通航时水深在4~14 m之间,水流平缓,流速约1.0 m/s,多年平均潮差1.69 m,最大潮差3.64 m。

桥址区基岩主要覆盖有粘土、软土及砂土层厚1.2~19.5 m,全、强风化带厚6.0~38.2 m,下伏基岩为泥岩、粉砂质泥岩夹砂岩,差异风化严重,岩质软,遇水易软化,地下水丰富,一般为分解类中等酸性腐蚀,工程地质条件一般。

(2) 主要技术标准。

设计车速:80 km/h。

设计荷载:汽车—超20级,挂车—120。

桥面宽度:2×16.5 m,双向8车道。

通航标准:净宽220 m,净高36.5 m。

防撞标准:主航道按5 000 t级船舶考虑。

地震基本烈度:7度。

(3) 主桥总体设计。

为适应220 m的通航要求,主跨跨径可确定为250 m左右,从景观、造价、施工难易程度等多方面综合考虑,主桥选用138 m+250 m+138 m预应力混凝土连续刚构,主桥长526 m,边中跨比为0.552,边跨现浇段长12 m,较小的边中跨比使边跨现浇段可采用吊架施工,节约施工费用。

主墩墩高34 m,高桩承台,具有较小的抗推刚度,适宜布置成连续刚构。由于跨径较大,为提高施工安全性,采用双薄壁墩,双壁中心间距为9.3 m。桥型布置图1所示。

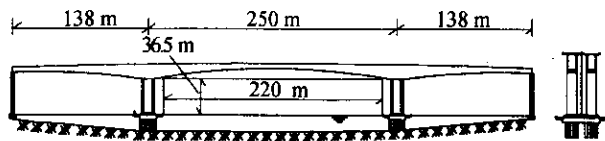


图1 珠江大桥桥型布置

(4) 主桥上部结构设计。

上部箱梁采用C60普通混凝土,按分幅单箱单室断面设计。半幅桥宽为16.5 m,箱宽7.8 m,两侧悬臂长4.35 m。根部梁高13.8 m,跨中及边跨尾段梁高4.3 m,箱梁高度按1.6次抛物线变化,根部高跨比为1/18.116,跨中高跨比为1/58.14。腹板0号

块厚度采用 90 cm, 1~19 号梁段以及边跨现浇段采用 70 cm, 20 号梁段为过渡段, 其余采用 50 cm。箱梁底板厚度按 1.6 次抛物线变化, 由根部 130 cm 渐变到跨中 32 cm。顶板厚除 0 号块采用 50 cm 外, 其余采用 25 cm。顶板设置 2% 的横坡, 由腹板高度调整, 底板保持水平。

箱梁采用三向预应力体系。纵桥向顶板、腹板配置 25~27 ϕ 15.24 钢绞线, 底板配置 19 ϕ 15.24 钢绞线, 均采用两端张拉, 钢绞线标准强度 $R_y^b = 1\,860$ MPa。顶板钢束布置以平弯为主, 锚固端附近局部竖弯, 腹板钢束仅在锚端附近竖弯, 底板钢束采用平竖弯结合布置。预应力管道用塑料波纹管并采用真空压浆工艺。

顶板横向预应力采用 4 ϕ 15.24 钢绞线配扁形镀锌波纹管, 按 1 m 间距交错单端张拉布置。

竖向预应力钢筋按 50 cm 间距均布于腹板内, 采用 ϕ 32 mm 精轧螺纹粗钢筋配 5 cm 的镀锌波纹管, 一端张拉, 70 cm 厚的腹板内布置双排, 50 cm 厚的腹板内布置单排。

横隔板设置人洞, 为提高抗裂性设置横向预应力, 采用 ϕ 32 mm 精轧螺纹粗钢筋。

主梁采用悬浇施工, 最大节段重按 250 t 控制, 挂篮按 0.4 倍节段重控制设计, 边跨尾段采用吊架施工。

为增强结构在悬臂施工过程中的抗风能力, 减小悬臂受风强迫振动的振幅, 在墩顶 0 号块用箱外横隔板将两幅桥连成整体, 并将箱梁悬臂的几个点在施工过程中临时连结。

(5) 主桥下部结构及基础。

主墩采用双薄壁墩身, 单箱单室截面, 墩身纵桥向宽为 250 cm, 横桥向与上部箱梁同宽为 780 cm, 壁厚 50~80 cm, 薄壁墩中心间距为 9.3 m。半幅桥主墩基础采用 12 根桩径为 2.5 m 的钻孔灌注桩, 按嵌岩桩设计, 承台纵桥向宽为 20.60 m, 承台厚度为 5.0 m。为提高结构在施工过程中的抗风能力, 增强基础防撞能力, 提高结构在横向的抗风、抗震能力, 将两幅桥承台连接成整体, 整体式承台总宽为 35.90 m。主墩承台设钢套箱防撞设施, 以保护墩身免受直接撞击, 并减小主墩受力和尽量保护事故船舶的安全。

(6) 结构分析与计算。

采用多个桥梁专用平面和空间杆系程序进行施工阶段和使用阶段的结构静力及动力分析计算, 采

用 ANSYS 大型结构分析程序进行承台节点、0 号块节点和全桥的仿真分析, 多个程序互相校验并指导结构设计与计算。

0 号块横隔板横桥向未计预应力时, 从应力云图看出在人洞左上方, 横桥向拉应力已超出混凝土的抗拉强度, 因此, 在横隔板布置横桥向预应力束, 对抗裂是有效的, 也是必要的。

从跨中底板横桥向在底板预应力径向力作用时的应力云图可以看出, 在跨中底板中部, 其横桥向拉应力较大, 因此, 要做好预应力在底板内的防崩钢筋的构造设计。

对比平面杆系程序计算和全桥的仿真分析计算结果, 可以得到主梁主要控制断面在对称活载和非对称活载的作用下的应力增大系数(主要是剪力滞效应)以及在恒载时的应力增大系数见表 1, 这些系数将为平面计算提供依据。

表 1 应力增大系数

项目	中跨根部 2 号断面 (上缘/下缘)	中跨 L/4 断面 (上缘/下缘)	中跨 L/2 断面 (上缘/下缘)
对称活载	1.25/1.24	1.15/1.14	1.06/1.04
非对称活载	1.35/1.32	1.27/1.25	1.05/1.04
恒载	1.29/1.25	1.17/1.14	0.98/0.96
恒载+非对称活载	1.31/1.30	1.20/1.19	1.01/1.00

(7) 结合施工监控, 进行动态设计。

通过施工监控可以得到施工过程中的大量数据, 如位移、内力、标高、弹性模量、摩阻损失。仿照斜拉桥施工监控通过仿真分析和参数识别, 又可以估计出恒载差异、刚度差异、预应力差异、收缩徐变变异等参数。采用识别出的参数重新进行结构分析计算, 发现设计中原先拟定的参数均有些小, 如按设计图纸施工, 将使线型和内力难以接受。因此, 调整了预应力设计, 将纵桥向顶板、腹板原配置的 25 ϕ 15.24 钢绞线调整为 27 ϕ 15.24 钢绞线, 尽量使调整后的新设计与实际相符。

(8) 留足预应力备用束, 在运营后根据健康监测结果进行内力调整。

根据已往大跨径混凝土梁桥在运营后出现的病害以及加固案例, 通过计算对珠江大桥预留了足够的预应力备用束。在边中跨底板内及每个 T 的顶板内分别设置 2 束体内备用束, 在全桥设置 8 束体外备用束并在 0 号块横隔板留出孔洞, 在梁上留出转向块和锚固块, 所有预留体内管道均采用塑料波纹管

并对锚垫板等钢件进行防腐处理。一旦需要马上张拉备用束,以达到低成本调整内力的期望。

4.2 其他混凝土梁桥的应用情况

在珠江大桥之后,又将其设计新思路广泛推广,在广州北环高速与广清高速联络线的卫生河大桥、广州南沙鳧洲大桥主桥、佛开高速公路九江大桥等多座大跨径混凝土梁桥上应用。

广州北环高速与广清高速联络线的卫生河大桥主跨为 100 m,进城方向 2 个边跨均为 60 m,桥宽 22.25 m,出城方向桥跨布置为 36.967 m+60 m+100 m+60 m,36.967 m 跨为变宽桥,宽度为 17~22.143 m,两幅桥均采用单箱双室,根部梁高 4.5 m,跨中及边跨端部梁高 2.50 m,梁高变化采用 1.8 次抛物线,腹板厚度 45~65 cm,底板厚度 30~65 cm,

顶板厚均为 25 cm,箱梁采用三向预应力设计,悬臂现浇施工,该桥已于 2005 年建成通车。

本桥的特点之一是桥下净空很低,而景观要求很高,为此而采用了 1/22.2 的低高跨比及双洞式凯旋门桥墩;特点之二是参照了珠江大桥也设置了相应的体内和体外预应力备用束。

参考文献:

[1] 梁立农,曹卫力. 广州南部仑头至龙穴岛快速路珠江特大桥方案设计[J]. 广东公路交通,2002,(3).
[2] 广东省公路勘察规划设计院,广州南部快速路珠江特大桥施工图设计[Z]. 2002.
[3] 韩大建,梁立农,徐郁峰. 珠江大桥有限元仿真分析[J]. 桥梁建设,2003,(3).

A New Concept of Designing Long Span Concrete Beam Bridge

LIANG Li-nong, HAN Da-jian

(Department of Civil Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510507, China)

Abstract: Main causes of crack and large deflection on long span concrete beam bridges are studied and a new concept to account for them is discussed. The theory of cable-stayed bridge construction monitoring is applied to prestressed concrete beam bridge. Controlling stress and displacement of bridge caused by dead weight, attrition loss of prestress wire, creep and shrinkage of concrete, temperature effect and foundation settlement etc. are analyzed during the construction stage and operation stage. The number of prestress wires are adjusted based on parameter identification during construction, and the spare internal tendons and external tendons are modified according to internal force on operation. By these measures, the prevent cracks of girder and undue deflection at midspan of long span prestressed concrete beam bridge could be prevented. At the same time, the design principle of the Zhujiang River Bridge is briefly introduced.

Key words: continuous beam; continuous rigid frame; crack; construction monitoring; design countermeasure